

ЕМІСІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНОЇ ПЛАЗМИ МАЛОЇ ЩІЛЬНОСТІ НА СУМІШАХ ІНЕРТНИХ ГАЗІВ З ПАРАМИ ЙОДУ

О. К. Шуаїбов, Л. Л. Шимон, І. А. Грабова
*Ужгородський національний університет
вул. Підгірна, 46, Ужгород, 88000, Україна
(Отримано 30 вересня 2004 р.)*

Подано результати дослідження випромінювання плазми повздовжнього тліючого розряду сталого струму в сумішах інертних газів з парами йоду. Розряд запалювався у кварцовій трубці при віддалі між електродами 10–50 см і загальному тиску газових сумішей 100–1500 Па. Аналіз випромінювання плазми проведено у спектральному діапазоні 150–350 нм. Тліючий розряд на сумішах інертних газів з парами йоду викликає значний інтерес для застосування в нових безртутних джерелах ультрафіолетового й вакуумно-ультрафіолетового випромінювання на атомах і молекулах йоду та молекулах йодистого ксенону. Наведено результати систематичних досліджень електричних, спектральних та енергетичних характеристик тліючого розряду залежно від тиску та складу газових сумішей і величини електричної потужності тліючого розряду.

Ключові слова: ультрафіолет, тліючий розряд, інертні гази, йод, випромінювання.

PACS number(s): 52.80.Jm, 52.20.Jm

ВСТУП

Потужні ексимерно-галогенні лампи, які накачують в різних електричних розрядах і випромінюють на електронно-коливальних переходах моногалогенідів важких інертних газів та ртуті [1–5] становлять значний інтерес для використання в мікроелектроніці, фотохемії, екології, сільському господарстві та медицині [6–9]. Найпростішим способом потужне й неперервне в часі ультрафіолетове спонтанне випромінювання можна отримати з допомогою тліючого розряду сталого струму в сумішах Kr–Cl₂ і Xe–Cl₂, який поширився як джерело випромінювання на смугах 222 нм KrCl(B–X) і 308 нм XeCl(B–X) [10]. Проте використання робочих газових сумішей на основі агресивних молекул хлору чи хлориду водню не давало змоги одержувати високих ресурсних характеристик ультрафіолетової лампи. Так, типовий ресурс роботи цих ламп на одній робочій суміші був у діапазоні 1–50 годин [1, 11]. Малий ресурс роботи хлоромісних ексимерно-галогенних ламп низького тиску зумовлений поглинанням хлору металевими електродами та вступом їхніх молекул у гетерофазну хемічну реакцію з кварцовою трубкою, що супроводжується утворенням полімерних сполук (хлорсилоксанів) [12]. Зважаючи на це, актуальною на сьогодні є заміна в ексимерно-галогенних лампах сталого струму молекул хлору та хлористого водню на менш агресивні молекули брому та йоду. Застосування молекул йоду в сумішах з інертними газами низького тиску дає змогу отримувати випромінювання смуг 253 нм XeI(B–X), 342 нм I₂(B–X) та інтенсивне випромінювання спектральної лінії атома йоду 206.2 нм. Ресурс випромінювання електророзрядних йодомісних ламп низького тиску в газостатичному режимі роботи збільшено до 500–1000 годин [13–15]. Особливу за-

цікавленість у цьому випадку становить можливість одержати випромінювання смуги 253 нм XeI(B–X), яка за довжиною хвилі збігається з однією з найінтенсивніших спектральних ліній атома ртуті в лампі низького тиску. Це дозволяє використовувати екологічно безпечні безртутні лампи на основі сумішей He(Xe)–I₂ в тих же оптичних технологіях, які були розроблені для випромінювання ртутних ламп. Використовуючи ексимерно-галогенні лампи як бактерицидні та в хемії високих енергій, важливо освоїти ділянки вакуумного ультрафіолету (ВУФ) за рахунок спектральних ліній атома йоду, які випромінюються в спектральному діапазоні 150–190 нм. Але емісійні характеристики електророзрядної плазми низької щільності на основі сумішей інертних газів з парами йоду досліджені не досить повно. Це стримує розробку нових потужних й екологічно безпечних джерел неперервного в часі УФ–ВУФ випромінювання. Особливо маловивченим є утворення збуджених молекул йоду та йодистого ксенону у плазмі тліючого розряду, яке має важливе значення при створенні ширококутових ексимерно-галогенних ламп. Найдокладніше утворення ексимерних молекул та збуджених димерів галогену досліджено в імпульсно-періодичних розрядах через діелектрик при тисках 30–100 кПа [16, 17].

У нашій статті подано результати вивчення випромінювання плазми тліючого розряду на сумішах інертних газів з парами йоду, яка є робочим середовищем потужних ексимерно-галогенних УФ–ВУФ ламп неперервної дії з циліндричною робочою апертурою.

І. ТЕХНІКА Й УМОВИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

У цій статті наведено результати дослідження вольт-амперних характеристик тліючого розряду,

спектрів випромінювання плазми в діапазоні 190–350 нм, залежності інтенсивності випромінювання спектральної лінії 206.2 нм та яскравості молекулярних смуг йоду і йодиду ксенону від тиску та складу газових сумішей і величини електричної потужності тліючого розряду в сумішах інертних газів з молекулами йоду.

Тліючий розряд сталого струму запалювали в циліндричній кварцовій трубці рис. 1, яка була прозорою до короткохвильової межі 190 нм. Міжелектродна віддаль становила 19 см. Внутрішній діаметр трубки дорівнював 1.4 см. У лампі використано порожнинні електроди з листового нікелю довжиною 1.5 см та зовнішнім діаметром 1.4 см. Кристалічний йод високої чистоти розміщено у спеціальному відростку, який встановлено за анодом лампи. Лампу попередньо відкачували до залишкового тиску 5–7 Па і заповнювали інертними газами або їх сумішами з використанням вакуумно-газозмішувальної системи. Емісійні характеристики плазми, яка формувалася в цій лампі, вивчали в спектральному діапазоні 190–600 нм з використанням фотопомножувача ФЕУ-106 та монохроматора МДР-2 з дифракційною ґраткою на 1200 штр./мм. Систему реєстрації випромінювання прокалібровано за величиною спектральної чутливості по випромінюванню лампи СИ 8-200У (400–1000 нм) і водневої лампи ДВС-25 (190–450 нм). Для дослідження контуру спектральної лінії атома йоду 206.2 нм у монохроматор МДР-2 встановлювали дифракційну голографічну ґратку на 2400 штр./мм і використовували спеціальну систему її повільного переміщення. Це дало змогу виміряти контур цієї спектральної лінії атома йоду з точністю 0.01 нм. Випромінювання відбирали з плазми позитивного стовпа тліючого розряду за допомогою лінзи й на подвійній фокусній віддалі фокусували на вхідну щілину монохроматора. Тліючий розряд запалювали з допомогою високовольтного випрямляча, який давав змогу отримувати напругу на виході 1–25 кВ при середньому струмі в межах 1–50 мА. Цю розрядну трубку охолоджували потоком повітря вентилятора. Температура відростка з йодом була близькою до кімнатної і при максимальній електричній потужності тліючого розряду не перевищувала її більш ніж на 10–15 градусів. Тиск парів йоду в лампі оцінювали за температурою найхолоднішої частини розрядної трубки і в цих експериментах він був у діапазоні 100–200 Па [18]. Досліджували електричні характеристики тліючого розряду за методикою та з використанням технічних засобів, які наведені в працях [19, 20]. Вимірювали повну потужність УФ випромінювання лампи в діапазоні 206–350 нм за фотометричною методикою [20]. При цьому враховували геометричні параметри, а для попередження впливу видимого та інфрачервоного випромінювання перед вимірювальною голівкою приладу “Кварц-01” було встановлено світлофільтр УВС-5 з коефіцієнтом пропускання в УФ діапазоні спектра 0.98.

В окремому експерименті було використано коротку розрядну трубку з відкритими торцями й міжелектродною віддаллю 10 см. Трубку встановлюва-

ли в металеву розрядну камеру об’ємом 10 л так, що один з торцевих отворів кварцової трубки був перед вхідною щілиною вакуумного монохроматора.

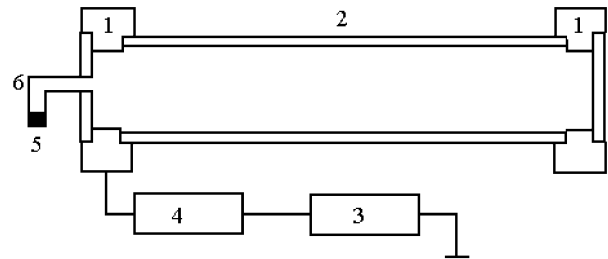


Рис. 1. Схема ексімерно-галогенної лампи на сумішах інертних газів з парами йоду: 1 — електроди, 2 — розрядна трубка, 3 — високовольтний випрямляч, 4 — баластний опір, 5 — кристалічний йод, 6 — відросток з кристалами йоду.

Розрядну камеру герметично приєднали до вакуумного монохроматора через віконце з LiF, яке дозволяло аналізувати випромінювання плазми з короткохвильовою межею 120–130 нм. Розрядну камеру відкачували до залишкового тиску повітря 7–10 Па. Кристалічний йод був розміщений у нижній частині розрядної камери в спеціальному металевому держаку об’ємом 1 см³. ВУФ-УФ випромінювання з глибини позитивного стовпа тліючого розряду реєструвалося на виході вакуумного монохроматора при допомозі фотопомножувача ФЕУ-142.

II. ЕЛЕКТРИЧНІ ТА СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Досить однорідний тліючий розряд у сумішах інертних газів з парами йоду формувалася при парціальних тисках інертних газів, які не переважали 150–200 Па, і величині розрядного струму I_{ch} , більшої за 30–40 мА. При зменшенні розрядного струму до 5–10 мА на фоні слабого дифузного розряду синього кольору в центрі розрядної трубки формувалася яскравий плазмовий шнур. Діаметр сильновипромінювального плазموутворення зменшувався з 8–10 мм (при $I_{ch} = 40 - 50$ мА) до 2–3 мм ($I_{ch} = 5 - 10$ мА). При тисках інертних газів, більших за 1.0 кПа, тліючий розряд у всьому діапазоні розрядних струмів існував у формі плазмового шнуру та слабострумного дифузного розряду. Така форма тліючого розряду характерна для режиму динамічного контрагування в середовищі інертних газів [21].

Для електронегативного газового середовища в центральній частині розрядної трубки завжди відбувається формування “йон-йонної” плазми, яка утворюється внаслідок значної різниці у швидкостях дифузії електронів та йонів вздовж радіуса розрядної трубки. Оскільки швидкість дифузії електронів значно перевищує швидкість дифузії негативних і пози-

тивних йонів, то електрони швидко залишають центральну частину розрядної трубки, де із заряджених частинок залишаються переважно йони I^+ , I^- , I_2^+ , I_2^- .

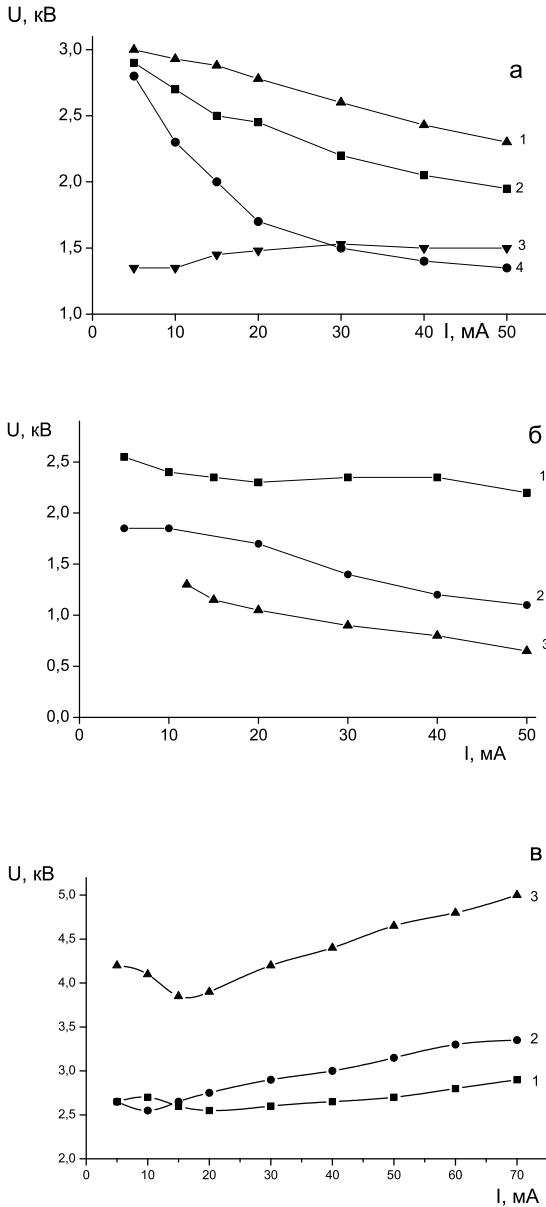


Рис. 2. Вольт-амперні характеристики тліючого розряду в сумішах інертних газів з парами йоду: а) суміші He-I₂ (1,2,4) і He-Xe-I₂ (3), де $P(\text{He}) = 130$ (1), 400 (2), 1600 (4) Па та $P(\text{He})-P(\text{Xe}) = 400-120$ Па (3) (міжелектродна віддалі $L = 19$ см); б) суміші Xe-I₂ при $P(\text{Xe}) = 130$ (1), 800 (2) та 1600 (3) Па; в) суміші Xe-Br₂-I₂ при $P(\text{Br}_2) = 130$ Па, $P(\text{I}_2) = 20-30$ Па, $P(\text{Xe}) = 130$ (1), 400 (2) та 800 Па (3).

Типові вольт-амперні характеристики (ВАХ) тліючого розряду в сумішах He-(Xe)-I₂ при величині віддалі між електродами 19 і 50 см, наведені на рис. 2. ВАХ тліючого розряду в суміші He-I₂ (рис. 2.а), відповідали піднормальній стадії, а в суміші He-Xe-I₂ — аномальній стадії [22]. Зі збільшенням парціально-

го тиску гелію в суміші He-I₂ і переходом розряду в режим динамічного контрагування потенціал запалювання розряду зменшується, а швидкість спаду напруги на електродах лампи зі зростанням струму збільшується. Невелика домішка ксенону до суміші He-I₂ (кр.3 на рис. 2.а) приводила до зменшення потенціалу запалювання тліючого розряду у два рази. У тліючому розряді на суміші Xe-I₂ зміни в поведінці ВАХ при різних парціальних тисках ксенону були подібними до попереднього випадку. При цьому в розряді на суміші Xe-I₂ швидкість зменшення величини U_{ch} зі збільшенням струму була в 2–3 рази меншою. Для тліючого розряду на сумішах Xe-Br₂-I₂ при малих парціальних тисках молекул галогеноносіїв і міжелектродній віддалі 50 см збільшення величини $P(\text{Xe})$ зумовлювало зростання потенціалів запалювання й горіння тліючого розряду. Стадія нормального тліючого розряду була практично відсутня, а при струмах більших за 10–20 мА тліючий розряд існував в аномальній стадії. Найбільш типові УФ спектри випромінювання лампи з величиною міжелектродної віддалі $L = 19$ см, яка працює на чистих парах йоду та їх сумішах з інертними газами наведені, на рис. 3. Ці спектри випромінювання не приведені до величини відносної спектральної чутливості системи “монохроматор МДР-2 + ФЭУ-106” з метою більш наочного представлення у спектрах випромінювання смуг молекул $\text{XeI}(B-X)$ та $\text{I}_2(B-X)$. У спектрах випромінювання тліючого розряду в парах йоду і суміші He-I₂ основним було випромінювання спектральної лінії 206.2 нм атома йоду та смуги 342 нм $\text{I}_2(B-X)$. У розряді на чистих парах йоду також виділялися окремі електронно-коливальні смуги молекули йоду в спектральному діапазоні 318–330 нм. У спектрах випромінювання плазми на сумішах Xe-I₂ спостерігалася яскрава смуга 253 нм $\text{XeI}(B-X)$. Під дією атомів He і Xe досить ефективно відбувається коливальна релаксація в межах В-стану димерів йоду [23], що призводить до зменшення яскравості випромінювання смуг з високо розміщених ($v = 9,10$) коливальних рівнів молекули йоду, з яких спостерігалася системи смуг у спектральному діапазоні 318–330 нм. У тліючому розряді на суміші Xe-Br₂-I₂ (при малих парціальних тисках парів йоду, коли молекулярне випромінювання димерів йоду практично відсутнє) найяскравішою була смуга випромінювання 282 нм $\text{XeBr}(B-X)$. Крім неї, у спектрі реєструвалося випромінювання спектральної лінії 206.2 нм, смуги 253 нм $\text{XeI}(B-X)$ нм та випромінювання димерів бром у спектральному діапазоні 292–310 нм. Розподіл яскравості випромінювання молекулярних смуг та спектральної лінії 206.2 нм для розряду в сумішах інертних газів з парами йоду одержували з урахуванням відносної спектральної чутливості системи реєстрації УФ випромінювання. Для розряду на суміші He-I₂ при $P(\text{He}) = 400$ Па воно становило: $J(206.2 \text{ нм})-J(342 \text{ нм}) = 0.48-0.52$ відн. од., а в суміші Xe-I₂ при $P(\text{Xe}) = 270$ Па: $J(206.2 \text{ нм})-J(253 \text{ нм})-J(342 \text{ нм}) = 0.7-0.3-1.0$ відн. од. Для розряду в потрійних сумішах He-Xe-I₂ при $P(\text{He})-P(\text{Xe})=400-120$ Па спів-

відношення яскравостей випромінювання було таким: 0.54–0.09–0.37 відн. од. Із цих співвідношень випливає, що за рахунок великої ширини смуг випромінювання димерів йоду та молекул XeI^* у спектральному діапазоні 230–350 нм зосереджено понад половину потужності УФ випромінювання плазми тліючого розряду на сумішах інертних газів з парами йоду. При використанні цього джерела УФ випромінювання як бактерицидного небажаним може виявитися випромінювання

смуги 342 нм $\text{I}_2(B-X)$. Проте експерименти з дії УФ випромінювання йодної лампи з накачуванням емісійним розрядом (у спектрі якої до 30 % потужності припадає на випромінювання смуги 342 нм I_2) на музейні штами ентеробактерій (типу *Escherichia coli*) виявили високу бактерицидну ефективність такої лампи. Так, при дозі опромінення бактерій більшій за 0.2 Дж/см², життєздатність культури *Escherichia coli* дорівнює нулеві [24].

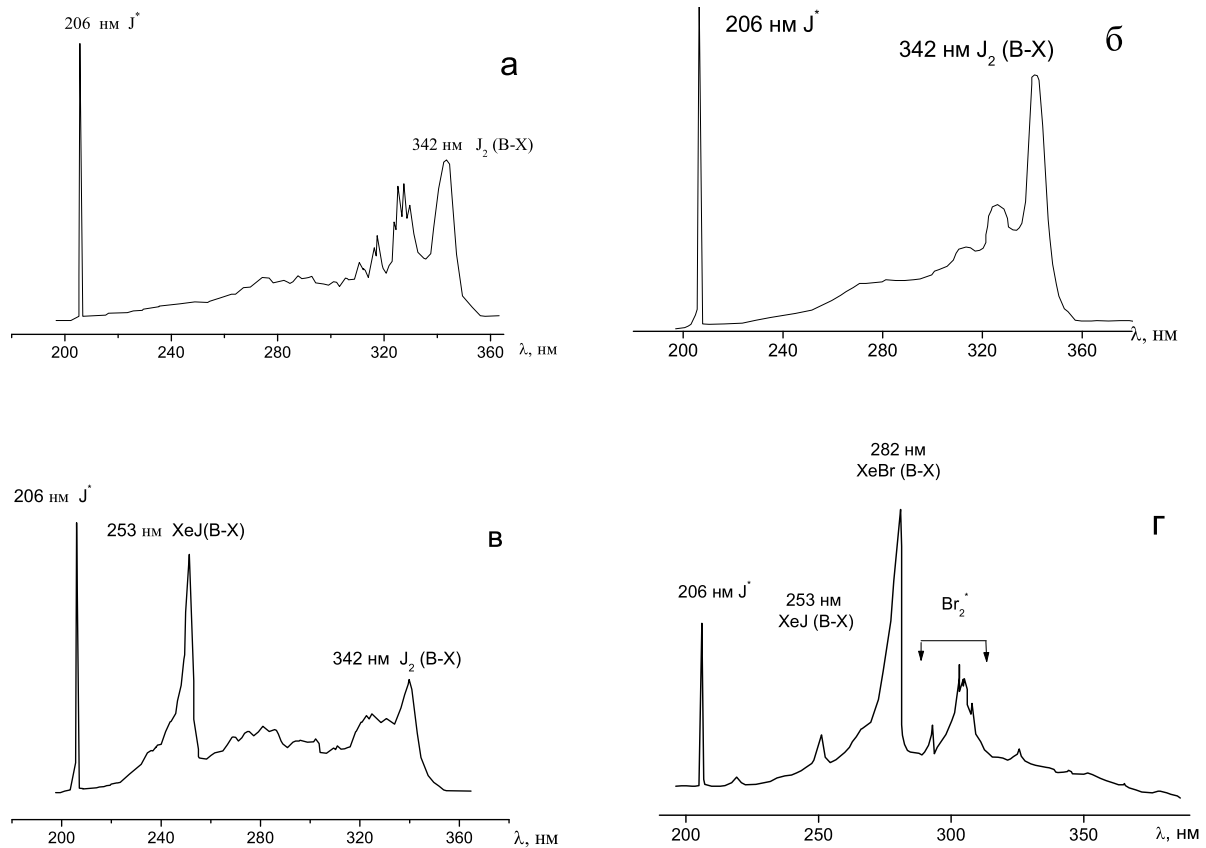


Рис. 3. Ультрафіолетові спектри випромінювання плазми тліючого розряду в парах йоду та його сумішах з інертними газами при величині розрядного струму 10–70 мА: а) $P(\text{I}_2) = 100\text{--}200$, б) $P(\text{He})\text{--}P(\text{I}_2) = (130\text{--}400)\text{--}100\text{--}200$, в) $P(\text{Xe})\text{--}P(\text{I}_2) = 130\text{--}(100\text{--}200)$, г) $P(\text{Xe})\text{--}P(\text{Br}_2)\text{--}P(\text{I}_2) = 400\text{--}130\text{--}(20\text{--}30)$ Па.

Спектри УФ–ВУФ (рис. 4) випромінювання йодовмісної лампи з величиною віддалі між анодом і катодом — 10 см реєструвалися з відкритого торця розрядної трубки через LiF віконце з допомогою вакуумного спектрометра. Крім спектральної лінії 206.2 нм атома йоду та смуг $\text{XeI}(B-X)$, $\text{I}_2(B-X)$ у ВУФ області спектра, виявлено й інші досить інтенсивні спектральні лінії атома йоду (таблиця 1). Вони отримані з урахуванням відносної спектральної чутливості вакуумного монохроматора й фотопомножувача ФЕУ–142 та наведені в таблиці 2 в порівнянні з відносною інтенсивністю спектральної лінії 206.2 нм. Найінтенсивнішими зі спектральних ВУФ ліній були лінії 150.7 нм та 161.2 нм. Нижнім енергетичним рівнем для ВУФ ліній атома йоду є основний стан $^2P_{1/2}$,

а для спектральної лінії 206.2 нм нижній енергетичний рівень розміщений на 0.9 еВ вище від основного. Для лампи з накачуванням бар'єрним розрядом на сумішах $\text{Xe}\text{--}\text{I}_2$, $\text{Kr}\text{--}\text{I}_2$ [17] у ВУФ ділянці спектра найінтенсивнішими були спектральні лінії 183 нм та 184.4 нм атома йоду, які в нашому експерименті не були провідними.

На рис. 5 наведено контур спектральної лінії випромінювання 206.2 нм для суміші $\text{Kr}\text{--}\text{I}_2$. Для інших сумішей він відрізнявся незначно і його ширина становила 0.10–0.12 нм (рис. 5). Цей контур був асиметричним. Контур спектральної лінії випромінювання атома йоду по ширині на половині інтенсивності практично збігався з відповідними даними для спектральної лінії 253.8 нм Hg I із ртутної лампи низького тиску.

λ , нм	Потужність, Вт	Тиск ксенону, кПа.			
		0.13	0.26	0.80	1.60
206 I*	15	10.3	38.3	16.4	10.2
	30	20.5	72.9	25.2	12.6
	45	31.6	100	32.5	—
253) XeI (B-X)	15	0.32	2.09	0.58	0.32
	30	0.48	2.86	0.55	0.18
	45	0.58	0.54	0.48	—
342 I ₂ (B-X)	15	0.18	0.23	0,1	0.022
	30	0.29	0.37	0.09	0.018
	45	0.37	0.48	0.07	—

Таблиця 1. Залежність інтенсивності випромінювання спектральних ліній і смуг у максимумі від парціального тиску ксенону та потужності, яка вноситься в розряд на суміші ксенону з парами йоду.

λ , нм	150.7	161.8	170.2	178.2	179.9	183	187.6	206.2
J , відн. од.	60	38	12	2	2	6	2	100

Таблиця 2. Інтенсивності спектральних ліній атома йоду в тліючому розряді на суміші гелію з парами йоду при $P(\text{He}) = 500$ Па.

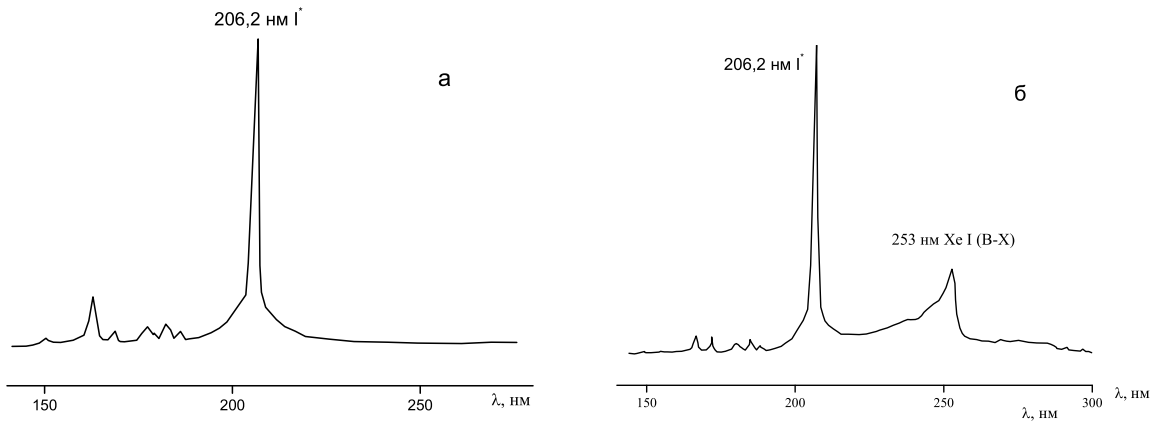


Рис. 4. УФ-ВУФ спектри випромінювання тліючого розряду в сумішах: а) He-I₂ і б) Xe-I₂ при тиску інертного газу 130–1000 Па та величині розрядного струму 30 мА.

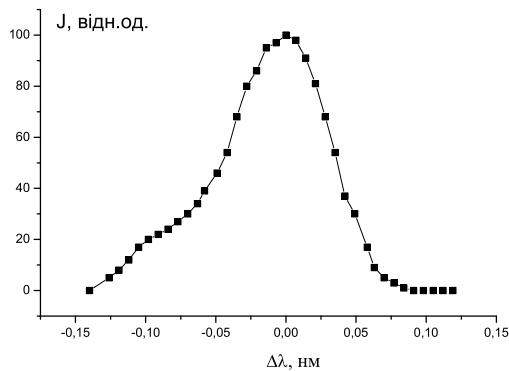


Рис. 5. Контур випромінювання спектральної лінії 206.2 нм атома йоду, отриманої з плазми на суміші Kr-I₂ при $P(\text{Kr}) = 400$ Па та розрядному струму 50 мА.

III. ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Залежності відносної потужності УФ випромінювання спектральної лінії 206.2 нм та смуг 253 нм XeI* і 342 нм I₂* від величини електричної потужності тліючого розряду в сумішах He(Xe)-I₂ при відстані між анодом і катодом 19 см наведені на рис. 6 та рис. 7. Усі ці залежності були зростаючими за законом, близьким до лінійного. Підвищення парціального тиску гелію та додавання в робочу суміш ксенону посилювало швидкість зростання відносної потужності випромінювання спектральної лінії атома йоду (рис. 7).

Це може бути спричинено підвищенням температури в розрядній трубці і збільшенням, відповідно, тиску насичених парів йоду. Лінійна форма залежностей потужності випромінювання спектральної лінії 206.2 нм та смуг молекул XeI і I_2 від величини електричної потужності тліючого розряду зумовлена також тим, що основним механізмом збудження спектральної лінії та смуги димерів йоду є дисоціативне збудження та пряме електронне збудження молекул йоду:

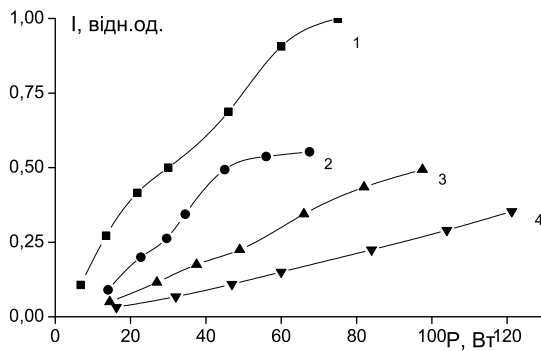
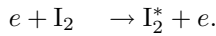
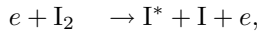


Рис. 6. Залежність відносної інтенсивності випромінювання спектральної лінії атома йоду 206.2 нм від величини електричної потужності тліючого розряду в сумішах He-Xe-I_2 (1) і He-I_2 (2,3), де $P(\text{He})-P(\text{Xe}) = 400-120$ (1), 400 (2), 130 Па (4).

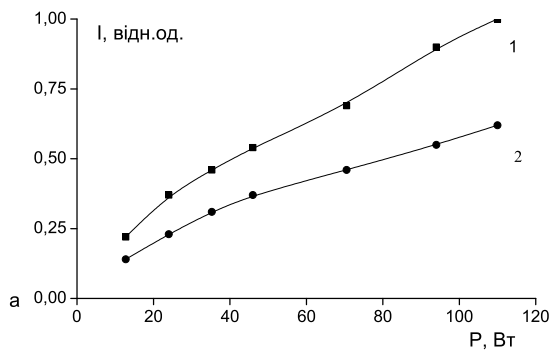
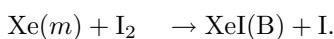


Рис. 7. Залежність відносної потужності смуг випромінювання 253 нм $\text{XeI}(B-X)$ (1) і 342 нм $\text{I}_2(B-X)$ (2) від величини електричної потужності тліючого розряду в суміші Xe-I_2 при $P(\text{Xe}) = 130$ Па.

Утворення же молекул $\text{XeI}(B)$ в тліючому розряді відбувається в результаті “гарпунної” реакції між метастабільними атомами ксенону та молекулами йоду:



Докладніше результати оптимізації випромінювання смуг $\text{I}_2(B-X)$, $\text{XeI}(B-X)$ та спектральної лінії атома йоду наведено в таблиці 1 на прикладі суміші Xe/I_2 . Як впливає з таблиці 1, збуджені молекули йоду та хлориду йоду найефективніше утворюються, коли тліючий розряд не контрагований, тобто при парціальному тиску ксенону 130–270 Па. Збільшення $P(\text{Xe})$ за межі 300 Па найбільше відбивалося на величині яскравості випромінювання смуги 342 нм $\text{I}_2(B-X)$. Яскравість випромінювання смуги 253 нм $\text{XeI}(B-X)$ різко зменшувалася зі зменшенням величини $P(\text{Xe})$ з 270 до 130 Па. При парціальному тиску ксенону більшому за 130 Па яскравість випромінювання смуги 253 нм зменшувалася зі збільшенням електричної потужності тліючого розряду за межі 30 Вт.

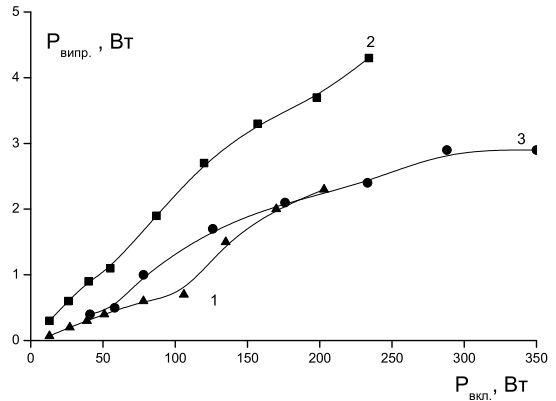


Рис. 8. Залежність середньої потужності випромінювання смуги 282 нм $\text{XeBr}(B-X)$ від величини електричної потужності тліючого розряду в сумішах: $P(\text{Xe})-P(\text{Br}_2)-P(\text{I}_2) = 130-130-(20-30)$ (1), 400–130–(20–30) (2) і 800–130–(20–30) (3) Па.

Залежності абсолютної потужності випромінювання смуги 282 нм $\text{XeBr}(B-X)$ з усієї бічної поверхні розрядної трубки з міжелектродною віддаллю 50 см від величини електричної потужності розряду в суміші $\text{Xe-Br}_2-\text{I}_2$ наведені на рис. 8. За рахунок збільшення довжини розрядної трубки при середніх розрядних струмах 10–70 мА електрична потужність тліючого розряду в найбільш оптимальних робочих сумішах зросла до 200–350 Вт. При цьому також поліпшуються умови примусового повітряного охолодження розрядної трубки. Максимальна потужність випромінювання смуги 282 нм досягала 4.5 Вт, а її залежності від енергетичного внеску в плазму розряду були зростаючими. Повна потужність усього УФ випромінювання цієї лампи досягала 15 Вт, а для лампи з міжелектродною віддаллю 19 см вона не переважала 5–7 Вт. Оптимальний парціальний тиск насичених парів бромоводню був у діапазоні 130–250 Па. Найбільш оптимальною для одержання максимальної потужності випромінювання смуги 282 нм та спектральної лінії 206.2 нм для суміші Xe і Br_2 з малими домішками парів йоду була суміш $P(\text{Xe})-P(\text{Br}_2)-P(\text{I}_2) = 400-130-$

(30–40) Па. Підвищення парціального тиску парів йоду за межі 100–150 Па приводило до превалювання у спектрі випромінювання плазми на суміші Хе–Br₂–I₂ випромінювання спектральної лінії 206.2 нм та смуги 253 нм.

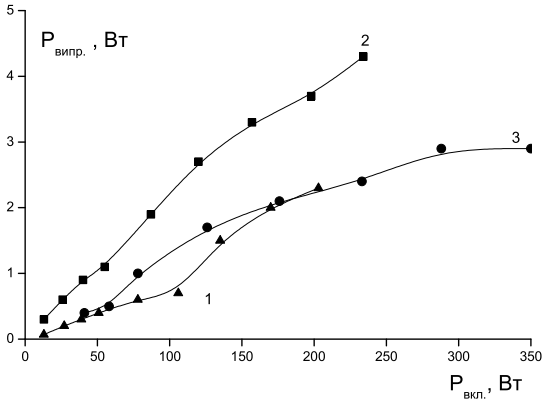


Рис. 9. Залежність відносної інтенсивності випромінювання спектральних ліній 206.2 (1) та 161.8 нм (2) від величини середнього струму тліючого розряду в суміші He–I₂ при P(He) = 500 Па.

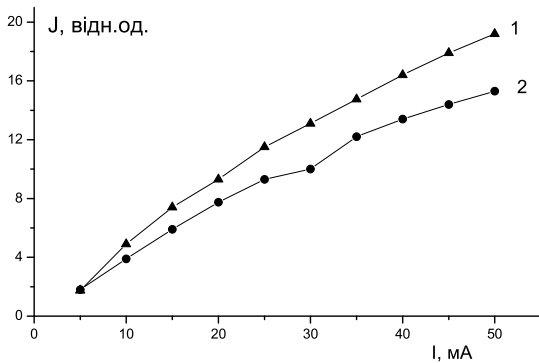


Рис. 10. Залежність відносної інтенсивності випромінювання спектральних ліній 206.2 (1), 161.8 нм (2) та амплітуди смуги 253 нм ХеI(B–X) від величини розрядного струму в суміші Хе–I₂ при P(Xe) = 500 Па.

На рис. 9 та рис. 10 показано залежності відносної інтенсивності випромінювання спектральних ліній атома йоду й амплітуди смуги 253 нм ХеI(B–X) від величини струму розряду в сумішах He(Xe)–I₂ для короткої розрядної трубки (L = 10 см) з виводом ви-

промінювання з глибини розрядного об'єму через відкритий торець розрядної трубки. У таблиці 3 наведено відповідні значення інтенсивності випромінювання залежно від роду інертного газу. Всі ці залежності від величини розрядного струму характеризувалися насиченням інтенсивності випромінювання при струмах більших за 30 мА. Такий характер залежностей зумовлений перегрівом розрядної трубки і значним підвищенням парціального тиску парів йоду, оскільки коротка розрядна трубка не охолоджувалася потоком повітря від вентилятора.

Суміш	λ, нм	I = 30 мА		I = 50 мА	
		W, Вт	J, відн.інт.	W, Вт	J, відн.інт.
He–I ₂	206.2	26,4	69,3	45	100
He–I ₂	161,8	26,4	56,8	45	79,7
Ne–I ₂	206.2	22,8	69,3	38	85,4
Ne–I ₂	161,8	22,8	30	38	39
Xe–I ₂	206.2	15	83.9	25	86.5
Xe–I ₂	253.0	15	35.4	25	38.5
Xe–I ₂	161.8	15	32.8	25	33.5
Kr–I ₂	206.2	18	69.3	31	92.2
Kr–I ₂	161.8	18	34	31	52.6

Таблиця 3. Залежність інтенсивності спектральних ліній атомів йоду та амплітуди смуги 253 нм при тисках інертних газів 500 Па.

ВИСНОВКИ

Отже, розробка та дослідження серії малогабаритних джерел потужного УФ–ВУФ випромінювання з накачуванням газових сумішей інертних газів з парами йоду і бромом тліючим розрядом сталого струму виявили таке: для цих ламп, порівняно з випромінюванням спектральних ліній атома йоду 206.2 нм та 161.8 нм, суттєвим є випромінювання молекулярних смуг 342 нм I₂(B–X), 282 нм ХеBr(B–X) та 253 нм ХеI(B–X); ширина спектральних ліній атома йоду перебуває в діапазоні 0.10–0.12 нм; такі джерела є ефективними для застосування їх як бактерицидних; при величині електричної потужності тліючого розряду в діапазоні 10–350 Вт повна потужність УФ випромінювання в спектральному діапазоні 200–350 нм була в межах 7–15 Вт; ресурс газових сумішей у газостатичному режимі роботи досягав 500 годин.

- [1] А. П. Головицкий, Письма журн. тех. физ. **18**, вып. 8, 73 (1992).
- [2] М. И. Ломаев, А. Н. Панченко, Э. А. Соснин, Журн. техн. физ. **68**, вып. 2, 64 (1998).
- [3] О. К. Шуаибов, Л. Л. Шимон, А. Й. Дащенко, I. В. Шевера, Журн. физ. докл. **5**, 131 (2001).
- [4] А. К. Шуаибов, А. И. Дащенко, И. В. Шевера, Физика плазмы **30**, №5, 475 (2004).
- [5] А. Н. Малинин, А. В. Поляк, Опт. спектроскоп. **95**, №6, 988 (2003).
- [6] G. S. Polunin, V. V. Kourenkov, E. G. Polunina, J. Refractive Surgery. **14**, № 2, S230 (1998).
- [7] E. A. Sosnin, V. N. Batalova, G. V. Slerchenko, Proc. SPIE **4747**, 352 (2002).
- [8] К. А. Боярчук, А. В. Карелин, Р. В. Широков, Квант. электрон. **33**, №12, 1107 (2003).
- [9] E. A. Sosnin, L. V. Lavrent'eva, M. R. Yusupov *et al.*, Proc. of Int. Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, (Rhodes, 2002) p. 384.
- [10] В. С. Скакун, М. И. Ломаев, В. Ф. Тарасенко, Д. В. Шитц, Письма журн. тех. физ. **28**, вып. 21, 42 (2002).
- [11] V. F. Tarasenko, A. N. Panchenko, V. S. Skakun, E. A. Sosnin *et al.*, Patent USA. № 6376972 B1 (2002).
- [12] М. В. Ерофеев, Э. А. Соснин, В. Ф. Тарасенко, Изв. вузов, физика №4, 68 (1999).
- [13] M. I. Lomaev, V. F. Taraseko, Proc. SPIE **4747**, 390 (2002).
- [14] О. К. Шуаибов, Л. Л. Шимон, I. А. Грабова, "Бактерицидная лампа", Декларационный патент на винахід, UA, № 62723, (2003).
- [15] А. К. Шуаибов, И. А. Грабовая, Журн. тех. физ. **74**, вып. 4, 66 (2004).
- [16] J.-Y. Zhang, I. W. Boyd, J. Appl. Phys. B. **84**, № 3, 1174 (1998).
- [17] Г. А. Волкова, Г. Н. Зверева, Опт. спектроскоп. **96**, №3, 419 (2004).
- [18] *Свойства неорганических соединений. Справочник* (Химия, Ленинград, 1983).
- [19] A. Shuaibov, L. Shimon, A. Dashchenko, I. Shevera, Proc. SPIE **4747**, 409 (2002).
- [20] А. К. Шуаибов, Л. Л. Шимон, А. И. Дащенко, И. В. Шевера. Приб. техн. эксп. № **1**, 104 (2002).
- [21] А. К. Шуаибов, Письма журн. тех. физ. **25**, вып. 17, 90 (1999).
- [22] Ю. П. Райзер, *Физика газового разряда* (Наука, Москва, 1987).
- [23] В. В. Дацюк, И. А. Измайлов, В. А. Кочелап, Усп. физ. наук **168**, 439 (1998).
- [24] Э. А. Соснин, Л. В. Лаврентьева, Я. В. Мастерова, М. В. Ерофеев, В. Ф. Тарасенко, Письма журн. тех. физ. **30**, вып. 14, 89 (2004).

EMISSIVE CHARACTERISTICS OF SMALL DENSITY ELECTRO-DISCHARGE PLASMA ON MIXES OF INERT GASES

A. K. Shuaibov, L. L. Shimon, I. A. Hrabova
 Uzhgorod National University
 46 Pidgirna St., Uzhgorod, 88000, Ukraine
 e-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

The results of a study of plasma radiation of the longitudinal glow discharge of direct current in mixes of inert gases with iodine vapour are given. The discharge was lit in a quartz tube at the distance between electrodes of 10–50 sm and the general pressure of gas mixes 100–1500 Pa. The analysis of plasma radiation was carried out in the spectral range of 150–350 nm. The glow discharge on a mix of inert gases with iodine vapour is of significant interest for the application in new non-mercury sources of ultra-violet and vacuum ultra-violet radiation on iodine atoms and molecules and iodide xenon molecules. Some results of the ongoing investigation of electric, spectral and power characteristics of the glow discharge are given depending on pressure, structure of gas mixes and value of electric capacity of the glow discharge.